

**Estimation de la biomasse de référence pour le projet de piégeage et de conservation du corridor de Makira-Anjanaharibe-Sud.**

*Prepared by:*

RAKOTOMARO Ndriatsimaniry Joël, Consultant

Projet d'Appui à la Gestion de l'Environnement

International Resources Group, Ltd.

1211 Connecticut Avenue, NW, Suite 700

Washington, DC 20036 USA

*Prepared for:*

USAID/Madagascar

January 2002

Environment Policy and Institutional Strengthening Indefinite Quantity Contact (EPIQ)

Partners: International Resources Group and Winrock International

Subcontractors: PADCO, Management Systems International, and Development Alternatives, Inc.

Collaborating Institutions: Center for Naval Analysis Corporation, Conservation International, KNB Engineering and Applied Sciences, Inc., Keller-Bliesner Engineering, Resource Management International, Inc., Tellus Institute, Urban Institute, and World Resources Institute

**Estimation de la biomasse de référence pour le projet de piégeage et de  
conservation du corridor de Makira-Anjanaharibe-Sud.**

**IRG / PAGE**

**Consultant : RAKOTOMARO Ndriatsimaniry Joël**

**Janvier 2002**

## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| I - Avant propos .....   | 5  |
| 2 - Présentation générale de Inventaire Ecologique Forestier National (IEFN) .....   | 5  |
| 2.1 - Objectifs .....  | 5  |
| 2.2 - Méthodologie .....   | 5  |
| 2.2.1 - Cartographie .....   | 5  |
| 2.2.2 - Echantillonnage terrestre des formations forestières denses .....  | 5  |
| 2.2.2.1 - Dispositif d'échantillonnage .....   | 5  |
| 2.2.2.2 - Les paramètres .....   | 6  |
| 2.2.2.3 - Instruments de mesure .....  | 6  |
| 2.3 - Traitements des données .....  | 6  |
| III - Méthodologie .....   | 8  |
| 3.1 - Rappel de l'objectif .....   | 8  |
| 3.2 - Démarche .....   | 8  |
| IV - Résultats et interprétations .....  | 10 |
| 4.1 - La stratification .....  | 10 |
| 4.2 - Caractéristiques sylvicoles des forêts de Nord Est de Madagascar .....   | 10 |
| 4.2.1 - Caractéristique floristique .....  | 10 |
| 4.2.2 - Quelques caractéristiques sylvicoles .....   | 10 |
| 4.3 - Analyse de la quantité de biomasse des forêts du Nord Est de Madagascar .....  | 11 |
| 4.3.1 - Les quantités de biomasse selon les différentes méthodes de calcul .....   | 11 |
| 4.3.2 - La quantité de biomasse par unité de base identifiée dans les zones forestières du Nord Est de Madagascar (calcul basé sur 133 grappes des 30 campements d'inventaire) ..... | 12 |
| 4.3.3 - Quantité de biomasse selon l'altitude .....  | 12 |
| 4.4 - La quantité de biomasse à partir points d'échantillonnage se trouvant dans la zone du projet de piégeage de carbone de Makira .....  | 13 |
| 4.4.1 - Quelques caractéristiques sylvicoles des forêts de Makira .....  | 13 |
| 4.4.2 - La quantité de biomasse selon les 28 grappes d'inventaire dans le noyau dur de la zone forestière de Makira .....  | 14 |
| 4.4.3 - La quantité de biomasse selon les 6 camps d'inventaire dans le noyau dur de la zone forestière de Makira .....   | 14 |
| 2.5 - Conclusion .....   | 16 |
| Références bibliographiques .....  | 17 |

### **Liste des abréviations**

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>BEF :</b>                     | Facteur d'extension de biomasse   |
| <b>BT :</b>                      | Biomasse totale   |
| <b>CIREF :</b>                   | Circonscription des Eaux et Forêts  |
| <b>CV :</b>                      | Coefficient de variation  |
| <b>DEF/MEF :</b>                 | Direction des Eaux et Forêts / Ministère des Eaux et Forêts                       |
| <b>DHP, D<sub>réf</sub>, D :</b> | Diamètre de référence à 1.30 m au-dessus du sol ou Diamètre à Hauteur de Poitrine |
| <b>FST :</b>                     | Facteur de surface terrière   |
| <b>G :</b>                       | Surface terrière ou surface basale  |
| <b>Htot, h :</b>                 | Hauteur totale  |
| <b>IC :</b>                      | Intervalle de confiance   |
| <b>IEFN :</b>                    | Inventaire Ecologique Forestier National  |
| <b>Lfût :</b>                    | Longueur du fût   |
| <b>VOB<sub>10</sub> :</b>        | Volume sur écorce des arbres de DHP $\geq$ 10 cm                                  |
| <b>Vtot :</b>                    | Volume total sur écorce   |
| <b>Wb :</b>                      | Poids de la biomasse des branches   |
| <b>Wd :</b>                      | Densité basale des arbres en t/m <sup>3</sup>                                     |
| <b>Wr :</b>                      | Poids de la biomasse des racines  |
| <b>Ws :</b>                      | Poids de la biomasse du tronc   |

## I - Avant propos

Le présent rapport entre dans le cadre des accords passés entre le projet IRG / PAGE et RAKOTOMARO Ndiatsimaniry Joël. L'appui technique sollicité par le projet IRG / PAGE dont l'objectif principal consiste à l'*Etude préliminaire de l'estimation globale de biomasse des forêts de Makira*. Cet objectif subdivise en trois sous objectifs à savoir :

- \* la formulation d'un compte rendu sur les bases existantes en matière d'estimation de la biomasse à Madagascar
- \* l'estimation préliminaire de la biomasse à partir des données nationales et internationales existantes.
- \* l'évaluation des faiblesses et limites des résultats

## II - Présentation générale des Inventaires déjà faits pour l'estimation préliminaire de la biomasse

### 2 - Présentation générale de l'Inventaire Ecologique Forestier National (IEFN)<sup>1</sup>

#### 2.1 - Objectifs

L'IEFN a pour but de combler la lacune d'information béante concernant l'état actuel et l'évolution des ressources forestières de Madagascar, informations indispensables pour une gestion stratégique et durable des ressources forestières au niveau national et régional. Il s'est fixé comme objectif de connaître la localisation et la distribution dans l'espace des différentes formations forestières, leurs principales caractéristiques dendrologiques et dendrométriques, certains de leurs paramètres floristiques et faunistiques, ainsi que leurs tendances évolutives.

#### 2.2 - Méthodologie

L'IEFN adopte la démarche suivante :

- \* le traitement et l'interprétation visuelle d'images satellites pour la stratification de la formation forestière, et
- \* la récolte par échantillonnage terrestre des principaux paramètres dendrologiques, dendrométriques, floristiques et faunistiques de formations forestières suivi du traitement des données et la sortie des résultats.

##### 2.2.1 - Cartographie

L'étude cartographique permet d'identifier les domaines phytogéographiques suivantes :

- domaines de l'Est et du Sambirano (0 msm à 800 msm);
- domaine du Centre - étage de moyenne altitude (800 msm à 1800msm) - pentes orientales
- domaine du Centre - étage de moyenne altitude (800 msm à 1800msm) - pentes occidentales
- domaine du Centre - étage des montagnes (1800 msm et au delà)
- domaine de l'Ouest (0 msm à 800 msm)
- domaine du Sud
- autres formations naturelles azonales;
- autres occupations du sol;

##### 2.2.2 - Echantillonnage terrestre des formations forestières denses

###### 2.2.2.1 - Dispositif d'échantillonnage

\* **grappe à six points échantillons** aux sommets et à mi-distance entre ceux-ci d'un triangle équilatéral de 80 m de côté dans les forêts denses humides sempervirentes (figure 1), comprenant :

- 1) six placettes à surface non définie (comptage angulaire) avec un facteur de surface terrière de 9 m<sup>2</sup>/ha pour le relevé de la végétation et des souches avec un  $D_{rét}$  de 1,50 cm et plus;

---

<sup>1</sup> DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra (1996). Inventaire Ecologique Forestier National : conception de l'inventaire par échantillonnage terrestre. DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra. 20p

2) trois placettes à surface définie circulaires de 3,75 m de rayon pour le relevé de la végétation et des souches avec un  $D_{réf}$  de 3,0 cm à 14,9 cm;

3) trois placettes à surface définie circulaires de 1,25 m de rayon pour le relevé de la végétation un  $D_{réf}$  de moins de 3,0 cm et une hauteur totale de 20 cm et plus.

**\* site d'échantillonnage ou campement**

Un site d'échantillonnage ou campement est préalablement l'ensemble des 5 grappes (figure2).

**2.2.2.2 - Les paramètres**

|                                   | Principaux paramètres   |
|-----------------------------------|---|
| Campement ou Site                 | - au centre<br>- Coordonnées géographiques (en DM) - Situation administrative (nom de la forêt, village, fivondronana, faritany, CIREF) - Quelques aspects socio économiques (ethnie, activités, pressions sur la forêt)  |
| Grappes                           | - Statut de la forêt – formation forestière – état de la forêt – accès – altitude – pente – exposition – relief – roche mère – texture et profondeur du sol – humus – couverture du sol – régime hydrique – exploitation – feux – défrichement – traces des divagations des bestiaux... |
| Placettes                         |   |
| Placette ronde de 1.5 m de rayon  | - espèces ayant un DHP <3 cm<br>Famille, genre, espèces, auteurs, catégorie commerciale<br>Nombre de tiges (selon deux classes : 20 cm à 129 cm de hauteur et 130 et plus)  |
| Placette ronde de 3.75 m de rayon | - espèces ayant un DHP <3 cm<br>Famille, genre, espèces, auteurs, catégorie commerciale<br>Nombre de tiges (selon deux classes : 3 cm à 9.9 cm de DHP et 10 cm à 14.9 cm de DHP)  |
| Placette à surface non définie    | - espèces ayant un DHP >=15 cm<br>Famille, genre, espèces, auteurs, catégorie commerciale<br>DHP (cm), Lfût (m), Htot (m), Position sociale, vitalité, qualité du fût, dégât.   |

**2.2.2.3 – Instruments de mesure**

- GPS, Boussole, relascope à miroir de Bitterlich, chevillère, ruban dendrométrique...

**2.3 – Traitements des données**

Le stockage des données et le traitement sont effectués à l'aide du logiciel BORLAND dBASE IV

Le calcul des caractéristiques dendrométriques de la population extrapolées à l'ha est fait à l'aide de la formule suivante :

$$Y / ha = \frac{FST}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{z_j} \frac{y_{ij}}{g_{ij}}$$

n : nombre d'échantillons

zj : nombre d'arbres échantillonnés dans l'échantillon j

yij : la caractéristique quelconque de l'arbre i échantillonné dans l'échantillon j

gij : la surface terrière de l'arbre i échantillonné dans l'échantillon j

**Nb :** La précision de la moyenne est effectuée par le coefficient de variation et l'erreur d'échantillonnage

Le volume sur écorce à l'hectare est calculé comme suit :

$$V = \pi D^2/4 \times 4L_{fût} / 5$$

avec D le diamètre de référence de l'arbre et Lfût la longueur du fût

La hauteur totale et la longueur du fût manquantes ont été calculées à l'aide des régressions ( $H_{tot}/L_{fût} = f(DHP)$ )

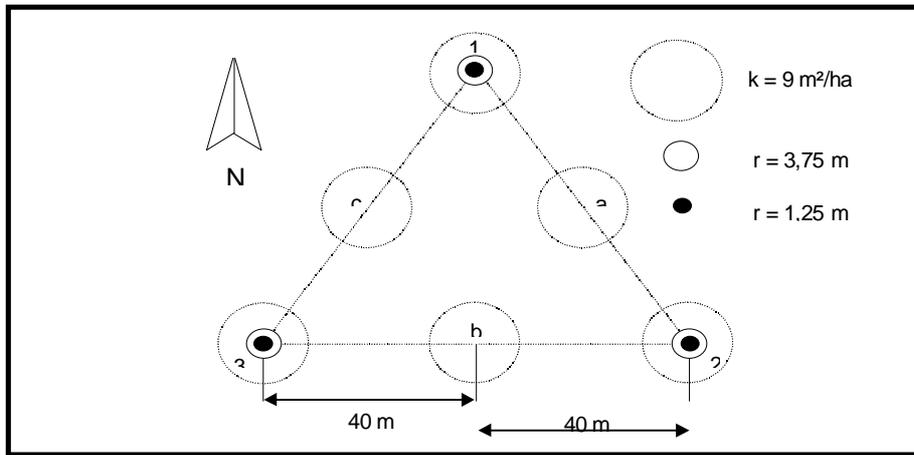


Figure 1 : Grappe à 6 points échantillons utilisée dans les forêts denses humides sempervirentes

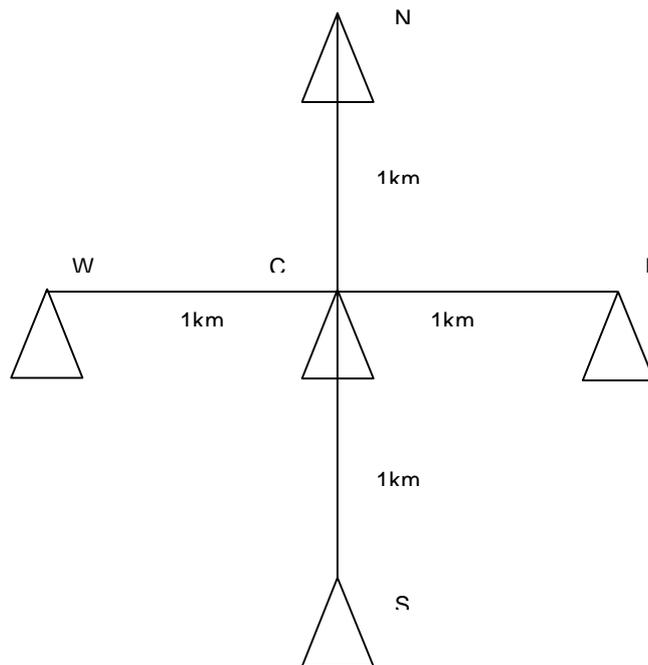


Figure 2 : Disposition des 5 grappes au sein d'un camp ou un site

### III - Méthodologie

#### 3.1 – Rappel de l'objectif

Rappelons que l'objectif de la présente étude est d'estimer la biomasse à partir des données nationales et internationales existantes et d'évaluer des faiblesses et limites des résultats avancés.

#### 3.2 - Démarche

Pour aboutir à l'objectif, la démarche suivante est adoptée :

- contact des responsables de l'IEFN à la DEF/MEF, identification et localisation des camps d'inventaire proches des zones forestières de Makira et recherche des fichiers d'inventaire correspondants
- étude et analyse des protocoles d'inventaire adoptés
- prétraitements (trier des données, transformation des fichiers ...)
- traitement des données
- analyse des résultats

Lors du traitement des données la méthode de calcul des paramètres dendrométriques et de la biomasse ainsi que la quantité de carbone stocké dans la biomasse est la suivante :

##### a) La stratification

La stratification s'effectue d'abord selon l'altitude et selon la réflectance de la végétation enregistrée dans l'image satellite (1996).

##### b) Paramètres dendrométriques

Pour la méthode de calcul des certains paramètres dendrométriques habituels, nous adoptons la méthode de calcul de l'IEFN (cf §2.2.2.4). Néanmoins, nous avons calculé le volume total ( $V = 0.53 \times \pi D^2/4 \times H_{tot}$ ) au lieu de volume utilisable (formule utilisée par l'IEFN :  $V = \pi D^2/4 \times 4L_{fût} / 5$ ).

Quant à l'estimation du volume des arbres inférieurs à 10 cm de DHP, les formules<sup>2</sup> suivantes sont adoptées :

$V = 0.53 \times \pi D^2/4 \times H_{tot}$  tel que :

$H = \exp(3,1847 - (11,2191/D))$  pour les forêts denses humides sempervirantes de basse altitude

$H = \exp(3,2034 - (12,2739/D))$  pour les forêts denses humides sempervirantes de moyenne altitude

##### c) Biomasse et quantité de carbone stocké dans la biomasse

###### Quantité de biomasse des Arbres

Compte tenu de l'inexistence des tarifs de biomasse pour la formation forestière à Madagascar, nous avons utilisé trois tarifs élaborés dans d'autres formations forestières tropicales.

1) tarif de biomasse selon Ogawa et al, 1965<sup>3</sup> dont

- la biomasse du tronc :  $W_s \text{ (kg)} = 0.0396 (DHP^2 h)^{0.9326} / d \text{ (cm), } h \text{ (m)}$
- la biomasse des branches :  $W_b \text{ (kg)} = 0.006002 (DHP^2 h)^{1.027} / d \text{ (cm), } h \text{ (m)}$
- la biomasse des racines :  $W_s \text{ (kg)} = 0.0264 (DHP^2 h)^{0.775} / d \text{ (cm), } h \text{ (m)}$
- la biomasse foliaire ( cette biomasse est estimée à 2% de la biomasse totale)

2) tarif de biomasse selon Ohler et al en 1980<sup>4</sup>, dont

- la biomasse du tronc :  $W_s \text{ (kg)} = 3.659 \cdot 10^{-4} DHP^{2.52} / DHP \text{ (mm)},$
- la biomasse des branches :  $W_b \text{ (kg)} = 0.2031 \cdot 10^{-4} DHP^{2.84} / DHP \text{ (mm)},$
- la biomasse foliaire :  $W_s \text{ (kg)} = 12.168 \cdot 10^{-4} DHP^2 / DHP \text{ (mm)},$

---

<sup>2</sup> Corrélations élaborées par l'IEFN lors de l'inventaire pilote avant l'inventaire proprement dit

<sup>3</sup> In UNESCO, Le PNUD et la FAO, 1979, Ecosystèmes forestiers tropicaux, ONU/ UNESCO-PNUD, 740p

<sup>4</sup> In R.L.H. Poels, 1987, Soils, Water and Nutriments in a forest ecosystem in Suriname, Agricultural University Wageningen The Netherlands, 253p

### 3) Formule de Brown, 1997 <sup>5</sup>

La biomasse épigée d'un peuplement :  $BT \text{ (t/ha)} = VOB_{10} \times Wd \times BEF$

Avec  $VOB_{10}$  exprimé en  $m^3/ha$  : volume sur écorce des arbres de  $DHP \geq 10 \text{ cm}$

BEF : facteur d'extension de biomasse

Wd : densité basale des arbres en  $t/m^3$ , pour les espèces forestières d'Afrique  $Wd = 0,58$

$$BEF = \begin{cases} \exp(3.213 - 0.506 \ln(BV)) \text{ pour } BV < 190 \text{ t/ha} \\ 1.74 \text{ pour } BV \geq 190 \text{ t/ha} \end{cases}$$

#### **Quantité de biomasse des arbustes**

La quantité de biomasse aérienne des arbustes (supposés des ligneux ayant un diamètre compris entre 3 et 10cm) est calculée à l'aide de la formule suivante :

$Bt \text{ (kg)} = 10^{-0.0535 + \log_{10}(g)}$  tel que  $g$  et la surface terrière de l'arbuste en question.<sup>6</sup> La surface terrière  $g$ , qui est exprimée en  $m^2/ha$ , est donnée par la formule suivante :  $g \text{ (m}^2) = \pi DHP^2/4$ .

#### **Quantité des biomasses des palmiers, des pandanus, des cyathea et de ravinala**

La formule suivante est utilisée pour le calcul de la quantité de biomasse aérienne palmier, des pandanus et de ravinala.

$Bt \text{ (kg)} = 10 + 6.4H_{tot}$  ; avec  $H_{tot}$  = hauteur totale.<sup>7</sup>

#### **Quantité de biomasse racinaire**

Elle est en générale estimée à **17,5%**<sup>8</sup> de la biomasse aérienne

#### **Quantité de carbones**

Pour la quantité de carbone stocké, elle est la moitié du poids sec de la biomasse totale pour les arbres, arbustes, lianes, litières.

#### **Quantité de biomasse de litière**

La quantité de biomasse de la litière est estimée à 7% de la biomasse hypogée

#### **Quantité de carbone du sol**

On adopte la valeur 70 t/ha de carbone pour le sol tropical humide de faible activité selon IPCC en 1996 pour avoir une estimation conservatrice de carbone du sol.

---

<sup>5</sup> Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest, a primer FAO Forestry, 134p

<sup>6</sup> In Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest, a primer FAO Forestry, 134p

<sup>7</sup> In Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest, a primer FAO Forestry, 134p

<sup>8</sup> In Philip M. FEARNside, 1992, Volume 2 : greenhouse gas emission from deforestation in the Brazilian amazon, Climate Change Division Environmental Protection Agency & Energy and Environment Lawrence Berkeley Laboratory, USA, 73p

## IV - Résultats et interprétations

### 4.1 - La stratification

Selon le domaine phytogéographique, deux strates ont été identifiées :

- \* la formation forestière de basse altitude ayant une altitude inférieure à 800 msm
- \* la formation forestière de moyenne altitude de pente orientale ayant une altitude supérieure à 800 msm jusqu'à 1200 msm

### 4.2 – Caractéristiques sylvicoles des forêts de Nord Est de Madagascar

#### 4.2.1 – Caractéristique floristique

Selon les données IEFN, les forêts du Nord Est de Madagascar sont caractérisées par 330 environ d'espèces réparties en 142 genres et 85 familles dont plus de 50% des espèces appartiennent aux familles de EUPHORBIACEAE, RUBIACEAE, LAURACEAE, APOCYNACEAE, CAESALPINIACEAE, SAPINDACEAE, COMPOSITAE, FLACOURTIACEAE, GUTTIFERAE, MORACEAE, MYRTACEAE, PAPILIONACEAE, STERCULIACEAE et MELASTOMATACEAE. Le nombre d'espèces, genres et familles recensé sont relativement faibles car la méthode adoptée par l'IEFN n'a pas permis d'avoir exactement la diversité floristique des forêts de cette région, d'une part, l'existence des espèces non identifiées lors du relevé montre que les données IEFN ne sont pas fiables du point de vue diversité floristique, d'autre part.

#### 4.2.2 – Quelques caractéristiques sylvicoles

##### a) Structure horizontale

**Tableau 1** : tableau synoptique de la structure horizontale des forêts Nord Est de Madagascar

|              | Sous bois | Arbustes | Arbres  | Palmiers<br>DHP<15 | Palmiers<br>DHP>15 | Total   |
|--------------|-----------|----------|---------|--------------------|--------------------|---------|
| Dmoy (cm)    | -         | -        | 32,9    | -                  | 32,8               |         |
| Hmoy (m)     | -         | -        | 17,1    | -                  | 17,1               |         |
| Nb (/ha)     | 56 423    | 3 191    | 1 500   | 1920               | 19                 | 62 588  |
| G (m2/ha)    | -         | 6,266    | 53,027  | -                  | 1,589              | 60,881  |
| Vtot (m3/ha) | -         | 7,886    | 444,046 | -                  | 12,921             | 464,853 |

Du point de vu abondance ce tableau montre l'importance des espèces de sous bois (~57 730 tiges/ha). Notons qu'ici le sous bois est défini comme toutes espèces végétales ayant une hauteur supérieure à 1.30m et un diamètre de référence (DHP) inférieur à 3 cm. En terme de dominance, les arbres (DHP>10cm) ont une surface terrière très importante qui représente le 87% de la surface terrière totale. Du point de vue contenance, les arbres prennent la première place avec un volume total 95% du volume total.

En terme de volume total la forêt de la zone d'étude est en générale à une potentialité importante avec une variation tolérable (40%) par rapport à celle des forêts denses humides sempervirentes de basse altitude de l'Est et Sambirano en générale (CV~56) (IEFN,1996)<sup>9</sup>.

Le volume total présenté sur ce tableau est nettement supérieur à l'ensemble des forêts denses humides sempervirentes de basse altitude de l'Est et Sambirano (IEFN,1996) car le volume présenté dans le document de l'IEFN n'est que le volume utilisable (volume du tronc d'arbre à compter à partir de la base jusqu'à la partie utilisable qui à son tour a une longueur abrégée Lfût). Dans le cadre de l'estimation de la quantité de biomasse nous calculons le volume total d'un arbre (de la base jusqu'au cime de l'arbre en question).

##### Remarque :

- Le nombre de tiges par hectare explique l'abondance des espèces, la surface terrière par hectare, qui est la somme de la surface de base des troncs d'arbre à 1,30m au-dessus du sol dans un hectare ( $g (m2) = \pi DHP^2/4$ ), exprime la dominance des espèces et le volume total par hectare renseigne la contenance des espèces dans un peuplement forestier.

<sup>9</sup>DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra (1996). Inventaire Ecologique Forestier National : situation de départ, problématique, objectifs, méthodes, résultats, analyses et recommandations. DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra. 146p

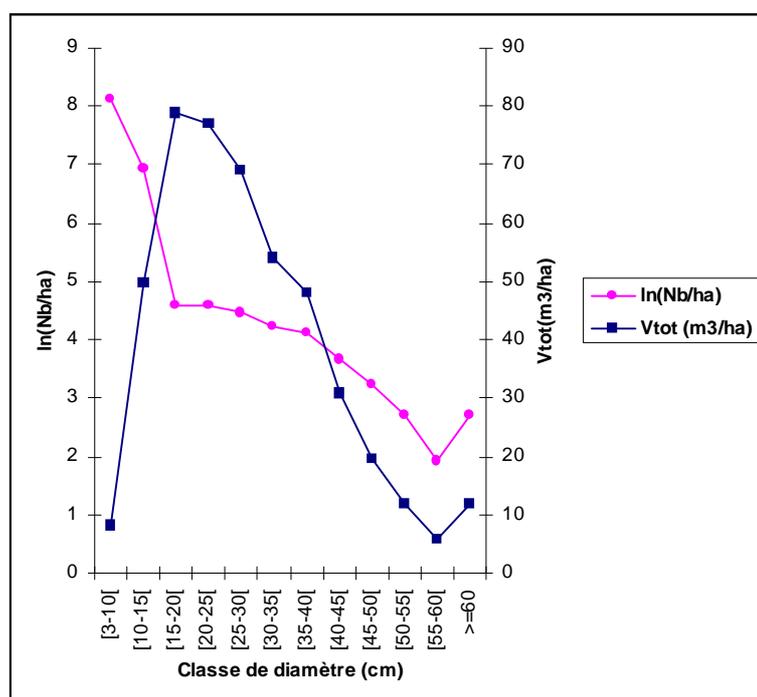
- La surface terrière et le volume total est fonction du diamètre de référence (DHP).

### b) Structure totale

La structure totale d'un peuplement forestier n'est autre que la répartition du nombre de tige, de la surface terrière et du volume total par classe de diamètre.

**Tableau 2 :** Tableau synoptique de la structure totale des forêts de Makira et ses environs

|              | Total   | <3    | [3-10[ | [10-15[ | [15-20[ | [20-25[ | [25-30[ | [30-35[ | [35-40[ | [40-45[ | [45-50[ | [50-55[ | [55-60[ | >=60   |
|--------------|---------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Nb(/ha)      | 62588   | 57730 | 3324   | 1022    | 99      | 97      | 87      | 68      | 61      | 39      | 25      | 15      | 7       | 15     |
| G(m2/ha)     | 60,881  | -     | 6,526  | 10,618  | 2,368   | 3,744   | 4,962   | 5,470   | 6,474   | 5,301   | 4,252   | 3,135   | 1,816   | 6,214  |
| Vtot (m3/ha) | 464,853 | -     | 8,209  | 49,571  | 78,992  | 77,097  | 68,979  | 54,005  | 48,111  | 30,797  | 19,715  | 11,824  | 5,758   | 11,795 |



**Figure 3 :** Représentation graphique des nombres de tiges par hectare et des volumes totaux par hectare selon les classes de diamètres

Le volume sur pied le plus élevé est celui des arbres ayant un diamètre entre 10 cm et 29.9cm qui représente 59,08% du volume total en suite les gros arbres de diamètre supérieur à 30 cm (37,15% du volume total). Ce tableau montre que les arbustes (les espèces ayant un diamètre entre 3 cm et 10 cm) ont un volume presque minime par rapport à l'ensemble (1,7% du volume total).

## 4.3 – Analyse de la quantité de biomasse des forêts du Nord Est de Madagascar

### 4.3.1 – Les quantités de biomasse selon les différentes méthodes de calcul

**Tableau 3 :** La quantité de biomasse et la quantité de carbone stocké dans la biomasse des forêts du Nord Est de Madagascar selon les auteurs

|                            | Ogawa               |                 | Ohler et al         |                 | Brown               |                 |
|----------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
|                            | Qtt biomasse (t/ha) | Qtt de C (t/ha) | Qtt biomasse (t/ha) | Qtt de C (t/ha) | Qtt biomasse (t/ha) | Qtt de C (t/ha) |
| Moyenne                    | 356,315             | 178,158         | 740,622             | 370,311         | 481,205             | 240,603         |
| Coefficient de Variation % | 27,13               | 27,13           | 26,57               | 26,57           | 35,67               | 35,67           |

Wbio : Poids sèche de biomasse, Qtt : Quantité

Par rapport à la forêt dense humide dégradée de la Mandraka (164t/ha)<sup>10</sup> de la forêt dense humide dégradée de Mahatsinjo (143t/ha) et de la forêt littorale de Tampolo exploitée (~106 t/ha)<sup>11</sup>, la zone forestière de Makira a un stock de carbone important quelque soit le formule utilisé.

Par rapport à la méthode de calcul adoptée par Brown 1997, le tarif individuel de biomasse de Ogawa semble fournir des résultats sous estimé tandis que le tarif individuel de biomasse établi par Ohler et al donne des résultats sur estimés.

Ainsi la méthode de calcul de la quantité de biomasse selon Brown en 1997 est retenu pour l'estimation de l' estimation globale de biomasse des forêts de Makira

Notons que ces données exclues le carbone stocké dans l'humus, dans les litières et dans le sol.

#### 4.3.2 – La quantité de biomasse par unité de base identifiée dans les zones forestières du Nord Est de Madagascar (calcul basé sur 133 grappes des 30 campements d'inventaire)

**Tableau 4** : La quantité de biomasse en tonne / ha des différentes unités de base

|                   | Source                       | Pondération en % par rapport à la biomasse aérienne | Volume total (m3/ha) | Quantité de biomasse (t/ha) | Quantité de C (t/ha)    |
|-------------------|------------------------------|---|----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Arbuste           | IEFN, 1996                   |   | 7,886                | 22,1588 ± 1,336             | 11,0794 ± 0,66799       |
| Arbre>10          | IEFN, 1996                   |   | 444,046              | 457,564 ± 29,140            | 228,782 ± 14,5701       |
| Palms             | IEFN, 1996                   |   | 12,921               | 1,504 ± 0,600               | 0,752 ± 0,2998          |
| Litière           |                              | 7%  |                      | 33,684 ± 2,042              | 16,842 ± 1,021          |
| <b>Sous Total</b> |                              |   | <b>464,853</b>       | <b>514,889 ± 31,215</b>     | <b>257,445 ± 15,608</b> |
| Racine            | P.M. FEARNSIDE <sup>12</sup> | 17,5%   |                      | 84,211 ± 5,105              | 42,105 ± 2,553          |
| Sol               |                              |   |                      | 140,000                     | 70,000                  |
| <b>Sous Total</b> |                              |   |                      | <b>224,211 ± 5,105</b>      | <b>112,105 ± 2,553</b>  |
|                   |                              |   | <b>Total</b>         | <b>739,100 ± 36,320</b>     | <b>369,550 ± 18,160</b> |

Les zones forestières du Nord Est de Madagascar possèdent un stock de Carbone **369,550 ± 18,160** tonnes par hectare soit **739,100 ± 36,320** tonnes de biomasse par hectare. Par rapport aux autres forêts humides d'Afrique<sup>13</sup>, cette valeur est relativement importante.

#### 4.3.3 – Quantité de biomasse selon l'altitude

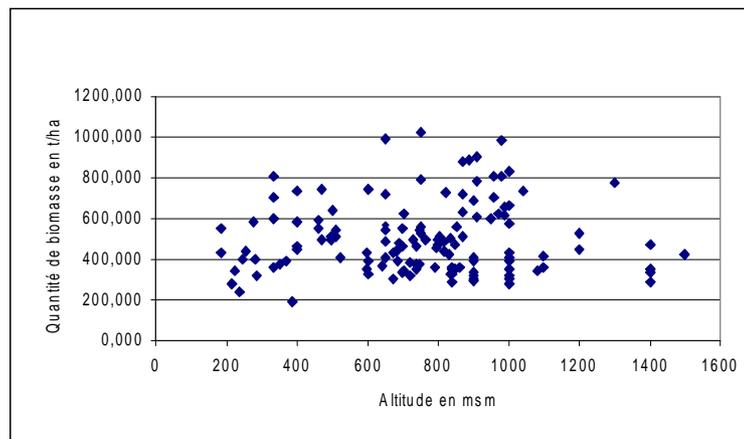
La variation de la quantité de biomasse épigée de la zone forestière de Makira, selon les données IEFN, se présente comme ci après :

<sup>10</sup> In Andriamahay, M.C. (1995). Cycle du carbone sur les Hauts Plateaux. ESSA Forêts. 109p

<sup>11</sup> In Rajoelison, L. G. (1997) : Etude sylvicole de la forêt tropicale humide malagasy, ESSA-Forêts,138p

<sup>12</sup> In Philip M. FEARNSIDE, 1992, Volume2 :greenhouse gas emission from deforestation in the Brazilian amazon, Climate Change Division Environmental Protection Agency & Energy and Environment Lawrence Berkeley Laboratory, USA, 73p

<sup>13</sup> cf Brown, S.,1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest, a primer FAO Forestry, 134p



**Figure 4** : Image des points Volume total (m3/ha) des grappes selon l'altitude

La variation de la production en biomasse des zones forestières de Makira et ses environs est indépendante de l'altitude à cause des plusieurs facteurs anthropiques parmi les quels l'exploitation (illicite ou non).

Le tableau d'analyse de variance suivant montre qu'au seuil de 95% de probabilité la différence – 30,49 tonnes de biomasse entre les forêts de basse altitude et les forêts de moyenne altitude n'est pas statistiquement significative.

Table d' Analyse de la Variance

| Source:        | ddl: | SC          | Moyenne quadratique: | F-test:    |
|----------------|------|-------------|----------------------|------------|
| Between groups | 1    | 35002.448   | 35002.448            | 0.765      |
| Within groups  | 131  | 5993776.056 | 45754.016            | p = 0.3834 |
| Total          | 132  | 6028778.504 |                      |            |

| Group:           | Count: | Mean:   | Std. Dev.: | Std. Error: |
|------------------|--------|---------|------------|-------------|
| Basse altitude   | 70     | 723.71  | 197.205    | 23.571      |
| Moyenne altitude | 63     | 756.201 | 231.07     | 29.112      |

#### 4.4 – La quantité de biomasse à partir points d'échantillonnage se trouvant dans la zone du projet de piégeage de carbone de Makira

Notons que 6 campements d'inventaire se trouvent à l'intérieur et proche du noyau dur de la zone forestière de Makira. Ces 6 campements sont constitués par 28 grappes.

##### 4.4.1 – Quelques caractéristiques sylvicoles des forêts de Makira

###### a) Structure horizontale

**Tableau 5** : Structure horizontale des forêts de Makira

|              | Sous bois | Arbustes | Arbres  | Palmiers DHP<15 | Palmiers DHP>15 | Total   |
|--------------|-----------|----------|---------|-----------------|-----------------|---------|
| Dmoy (cm)    |           |          | 31,0    |                 |                 | 32,3    |
| Hmoy (m)     |           |          | 17,5    |                 |                 | 17,4    |
| Nb (/ha)     | 49596     | 2202     | 1777    | 1062            |                 | 54643   |
| G (m2/ha)    |           | 4,323    | 58,165  |                 | 0,772           | 63,260  |
| Vtot (m3/ha) |           | 4,972    | 537,957 |                 | 6,075           | 549,004 |

Par rapport à l'ensemble de la zone forestière de Maroantsera, la forêt de Makira a une contenance considérable et une dominance importante.

###### b) Structure totale

Le tableau synoptique suivant montre la structure totale des forêts de Makira

**Tableau 6 :** Structure totale des forêts de Makira

|              | Total | Nb reg | [3-10[ | [10-15[ | [15-20[ | [20-25[ | [25-30[ | [30-35[ | [35-40[ | [40-45[ | [45-50[ | [50-55[ | [55-60[ | >=60   |
|--------------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Nb (/ha)     | 54643 | 50517  | 2334   | 1178    | 182     | 131     | 87      | 74      | 38      | 37      | 19      | 19      | 9       | 20     |
| G (m2/ha)    | 63,26 |        | 4,582  | 12,231  | 4,339   | 4,982   | 4,929   | 5,786   | 3,964   | 4,929   | 3,268   | 3,964   | 2,357   | 7,929  |
| Vtot (m3/ha) | 549,0 |        | 5,277  | 55,284  | 144,323 | 103,780 | 69,032  | 58,433  | 30,200  | 29,207  | 15,155  | 14,972  | 7,541   | 15,802 |

Les arbres ayant un diamètre inférieur à 30 cm représentent le 68,80% du volume total et 31,20% pour les arbres de gros diamètre (>30cm).

#### 4.4.2 – La quantité de biomasse selon les 28 grappes d'inventaire dans le noyau dur de la zone forestière de Makira

**Tableau 7 :** La quantité de biomasse selon les 28 grappes d'inventaire dans le noyau dur de la zone forestière de Makira

|                   | Source                       | Pondération en % par rapport à la biomasse aérienne | Volume total (m3/ha) | Quantité de biomasse (t/ha) | Quantité de C (t/ha)    |
|-------------------|------------------------------|---|----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Arbuste           | IEFN                         |   | 4,972                | 15,288 ± 1,404              | 7,644 ± 0,702           |
| Arbre>10          | IEFN                         |   | 537,957              | 550,367 ± 75,198            | 275,183 ± 37,599        |
| Palms             | IEFN                         |   | 6,075                | 0,688 ± 0,595               | 0,344 ± 0,297           |
| Litière           |                              | 7%  |                      | 39,644 ± 5,253              | 19,822 ± 2,626          |
| <b>Sous Total</b> |                              |   | <b>549,004</b>       | <b>605,987 ± 80,294</b>     | <b>302,993 ± 40,147</b> |
| Racine            | P.M. FEARNside <sup>14</sup> | 17,5%   |                      | 99,11 ± 13,132              | 49,555 ± 6,566          |
| Sol               |                              |   |                      | 140,000                     | 70,000                  |
| <b>Sous Total</b> |                              |   |                      | <b>239,110 ± 13,132</b>     | <b>119,555 ± 6,566</b>  |
| <b>Total</b>      |                              |   |                      | <b>845,097 ± 93,427</b>     | <b>422,548 ± 46,713</b> |

Par rapport à l'ensemble des forêts denses humides de la zone Nord Est de Madagascar (**739,100 ± 36,320** tonnes de biomasse par hectare), la zone de conservation de Makira possède une quantité de biomasse importante (**845,097 ± 93,427** tonnes de biomasse par hectare) même si on trouve que, statistiquement parlant, il n'y a pas des différences significatives entre eux.

#### 4.4.3 – La quantité de biomasse selon les 6 camps d'inventaire dans le noyau dur de la zone forestière de Makira

Le tableau ci après fait état de la quantité de biomasse de carbone dans le noyau dur de la zone forestière de Makira selon les 6 camps d'inventaire.

**Tableau 8 :** La quantité de biomasse selon les 6 camps d'inventaire dans le noyau dur de la zone forestière de Makira

|                   | Source                       | Pondération en % par rapport à la biomasse aérienne | Volume total (m3/ha) | IC <sup>15</sup> de la Quantité de biomasse (t/ha) | Quantité de C (t/ha)    |
|-------------------|------------------------------|---|----------------------|--|-------------------------|
| Arbuste           | IEFN                         |   | 5,010                | 15,343 ± 2,207                                     | 7,671 ± 1,103           |
| Arbre>10          | IEFN                         |   | 531,005              | 543,486 ± 63,039                                   | 271,743 ± 31,519        |
| Palms             | IEFN                         |   | 5,754                | 0,642 ± 0,578                                      | 0,321 ± 0,289           |
| Litière           |                              | 7%  |                      | 39,163 ± 4,402                                     | 19,581 ± 2,201          |
| <b>Sous Total</b> |                              |   | <b>541,769</b>       | <b>598,634 ± 67,295</b>                            | <b>299,317 ± 33,647</b> |
| Racine            | P.M. FEARNside <sup>16</sup> | 17,5%   |                      | 97,907 ± 11,006                                    | 48,954 ± 5,503          |
| Sol               |                              |   |                      | 140,000  | 70,000                  |
| <b>Sous Total</b> |                              |   |                      | <b>237,907 ± 11,006</b>                            | <b>118,954 ± 5,503</b>  |
| <b>Total</b>      |                              |   |                      | <b>836,541 ± 78,301</b>                            | <b>418,271 ± 39,150</b> |

<sup>14</sup> In Philip M. FEARNside, 1992, Volume2 :greenhouse gas emission from deforestation in the Brazilian amazon, Climate Change Division Environmental Protection Agency & Energy and Environment Lawrence Berkeley Laboratory, USA, 73p

<sup>15</sup> Intervalle de confiance de la moyenne au seuil de 95% de probabilité

<sup>16</sup> In Philip M. FEARNside, 1992, Volume2 :greenhouse gas emission from deforestation in the Brazilian amazon, Climate Change Division Environmental Protection Agency & Energy and Environment Lawrence Berkeley Laboratory, USA, 73p

A 95% de probabilité la quantité de biomasse obtenue à partir des 28 grappes, qui se trouvent dans la zone de conservation de Makira, ( $845,097 \pm 93,427$  t/ha) est légèrement supérieure à la quantité de biomasse obtenue à partir des 6 campements ( $836,541 \pm 78,301$  t/ha). Statistiquement parlant, le tableau d'analyse de variance suivant fait état l'inexistence de différence entre ces deux valeurs.

Table d'Analyse de la Variance

| Source:        | ddl: | Somme des Carrés: | Moyenne quadratique: | F-test:   |
|----------------|------|-------------------|----------------------|-----------|
| Between groups | 1    | 361.635           | 361.635              | 0.007     |
| Within groups  | 32   | 1765660.933       | 55176.904            | p = 0.936 |
| Total          | 33   | 1766022.567       |                      |           |

| Group:     | Count: | Mean:   | Std. Dev.: | Std. Error: |
|------------|--------|---------|------------|-------------|
| 28 grappes | 28     | 845.097 | 252.233    | 47.668      |
| 6 camps    | 6      | 836.542 | 97.858     | 39.95       |

Pour le calcul de la biomasse totale de la zone d'intervention du projet, le résultat obtenu à partir des 28 grappes est utilisé comme base de calcul de la quantité de biomasse totale pour l'ensemble de la zone et pour les différentes strates car il présente un coefficient de variation « CV = 29,85% » plus large par rapport à celui du résultat obtenu à partir des 6 campements.

## 2.5 – Conclusion

La zone forestière de Makira a un stock de carbone important quel que soit le formule utilisé.

### Quelques lacunes

Concernant les données de IEFN,

\* l'étude et l'analyse des résultats liés aux autres paramètres influant la production primaire de la forêt de Makira et ses environs ne peuvent pas se faire sans une vérification des fiches de relevé (fiche par fiche) à la DEF. Car les fichiers à notre disposition présentent beaucoup d'éléments contradictoires, voir bizarre...

\* le volume des arbres ayant un DHP entre 10 et 15 n'est pas précise car il manque le diamètre et la hauteur des arbres de cette classe de diamètre. L'extrapolation du volume moyen de tige de 11.5 cm de DHP à l'hectare et la pondération de ce volume par le nombre des tiges comptées dans une superficie de 3.75m de rayon risque soit de surestimer ou de sous-estimer la valeur obtenue.

La méthode d'inventaire adoptée par l'IEFN, qui est un inventaire forestier, nous semble inadéquate à l'estimation de la biomasse. Car aucune littérature soit nationale soit internationale adopte cette méthode pour l'estimation de la biomasse d'une forêt. Ainsi il faut développer une méthodologie d'inventaire adaptée pour l'inventaire de biomasse dans la zone de Makira et ses environs..

### Quelques atouts

A partir de l'exploitation des données IEFN, il est connu que :

\* les données IEFN servent à connaître d'une façon globale la potentialité de la zone forestière de Makira en biomasse. La zone forestière de Makira a un stock de **845,097 ± 93,427 t/ha** de biomasse sèche soit de **422,548 ± 46,713 t/ha** de carbone par hectare

\* elles permettraient aussi d'avoir des idées plus globales sur les différentes pressions anthropiques de la forêt de Makira et ses environs.

## **Références bibliographiques**

- **Andriamahay, M.C. (1995).** Cycle du carbone sur les Hauts Plateaux. ESSA Forêts. 109p
- **DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra (1996).** Inventaire Ecologique Forestier National : situation de départ, problématique, objectifs, méthodes, résultats, analyses et recommandations. DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra. 146p
- **DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra (1996).** Inventaire Ecologique Forestier National : conception de l'inventaire par échantillonnage terrestre. DEF/DFS/FTM/Entreprise Mamokatra. 20p
- **Rajoelison, L. G. (1997) :** Etude sylvicole de la forêt tropicale humide malagasy, ESSA-Forêts, 138p
- **UNESCO-PNUD-FAO (1979) :** Ecosystèmes forestiers tropicaux, ONU/ UNESCO-PNUD, 740p
- **R.L.H. Poels, (1987) :** Soils, Water and Nutriments in a forest ecosystem in Suriname, Agricultural University Wageningen The Netherlands, 253 p
- **Brown, S. (1997) :** Estimating biomass and biomass change of tropical forest, a primer FAO Forestry, 134p
- **FEARNSIDE, P. M. (1992) :** Volume2 :greenhouse gas emission from deforestation in the Brazilian amazon, Climate Change Division Environmental Protection Agency & Energy and Environment Lawrence Berkeley Laboratory, USA, 73p